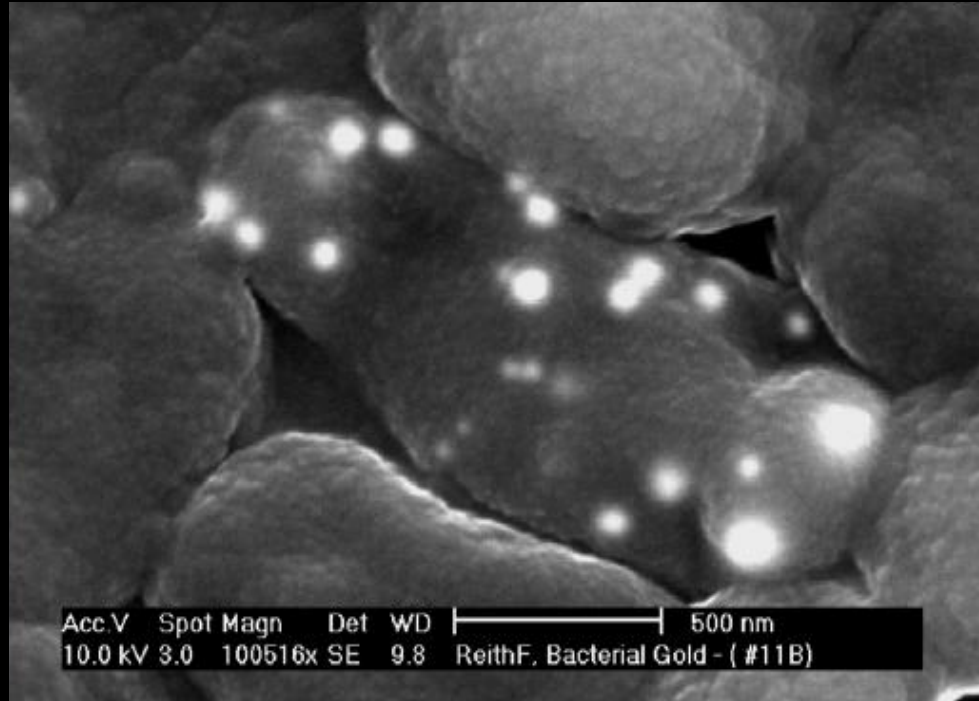


Márton István

# Baktériumok az aranyérc-telepek képződésének és feldolgozásának szolgálatában



Geolimesz

Bálványos, 2007. december 26-28.

$$\lim_{0 \rightarrow \infty} f(\text{geo}, x) = ?$$



## „The smallest gold-diggers in the world” – Nature, 2007

- ✓ Az arany szállítása oldatokban, arany-ligandumok (komplexek)
- ✓ A baktériumok lehetséges szerepe az arany kiválasztásában vagy oldatba vitelében, geomikrobiológiai vonatkozások
- ✓ Arany kinyerési technológiák, mikrobiális eljárások jelentősége a jövő arany-kohászatában

# Az arany szállítása vizes oldatokban és gőzfázisban

---



- magas szalinitású magmás-metamorf oldatok, savas jellegű közegben



- alacsony szalinitású meteorikus oldatok, magmás gőzfázisban, alkáli jellegű közegben



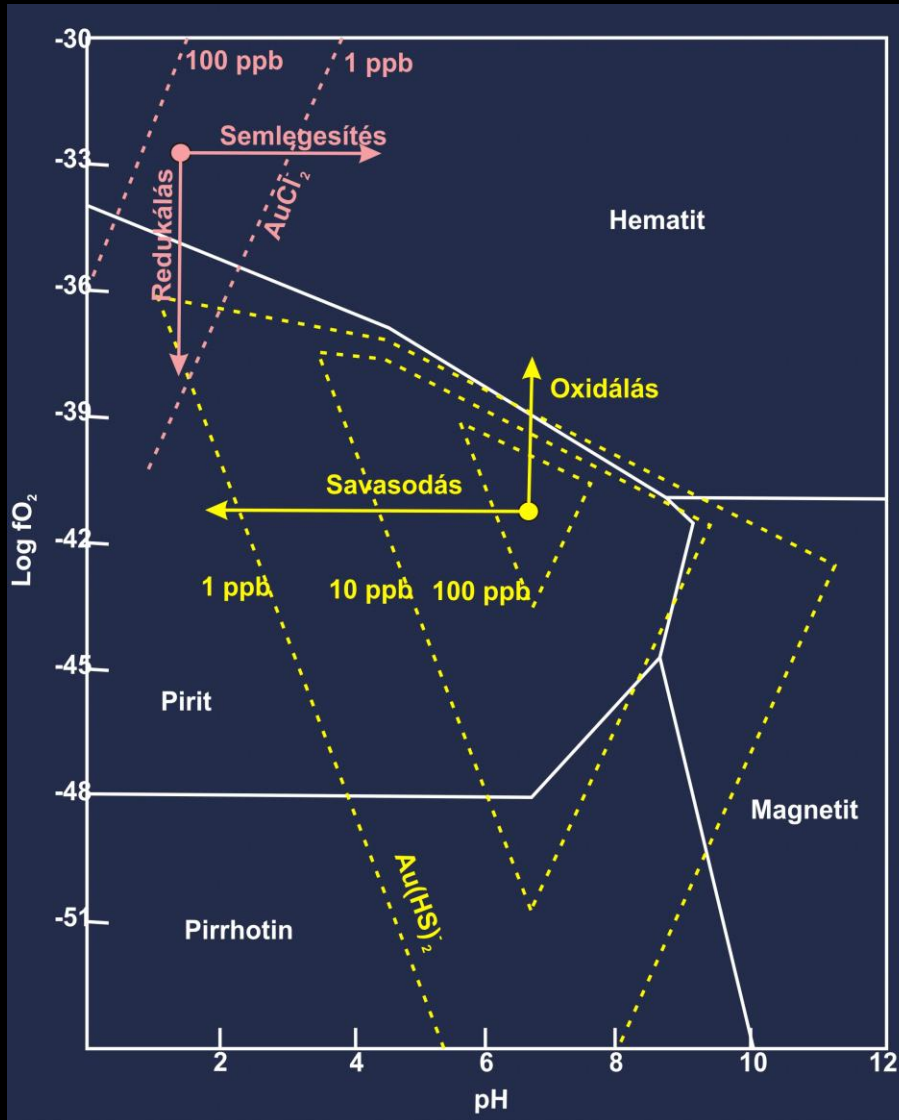
- alacsony hőmérsékletű vizes oldatokban, oxidatív közeg, regolit képződés körülményei között



- alkáli jellegű közegben, szabad cianid jelenlétében

# Az aranyérc kivállását meghatározó geokémiai folyamatok

## ➤ a fém-ligandumok oldhatóságának csökkenése által



✓ **Homérséklet (és nyomás) gradiens változása:** érckivállása az oldatok hűlésével

✓ **Fázis különválás az oldatokban (pl. felforrás):** hirtelen pH növekedés foként az  $Au(HS)_2^-$  ligandum esetén effektív

✓ **Kül. oldatok keveredése vagy hígulása :** pl. forró – fémtelített oldatok keveredése meteorikus eredetű oldatokkal

✓ **Oldat-közet kölcsönhatás:** hidrotermás hatása a pH és Eh változásra, szulfidizáció, szerves anyag általi redukálás, stb.

✓ **Biokémiailag (pl. kénbaktériumok) aktivált érckivállás**

Log  $fO_2$  vs. pH diagram, arany oldhatósági kontúrok  $Au(HS)_2^-$  és  $AuCl_2^-$  ligandumok esetén, a kül. Fe-szulfid és -oxidok stabilitási mezejében (Robb, 2005).

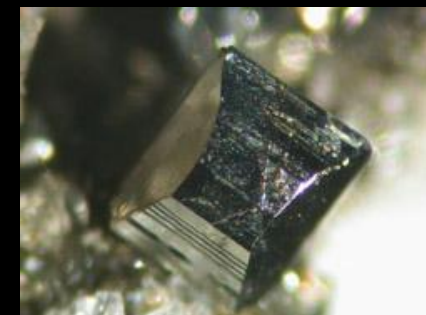
# Az arany a természetben számos ásvány felépítőjeként előfordul

## A szulfidos aranyércesedésekhez kapcsolódható gyakori ásvány-paragenézisek

Kémiai elem	Terméselemek	Szulfidok	Arzenidok	Antimonitok	Telluridok	Szelenidák
Vas (Fe)		Pirhotit (FeS) Pirit (FeS <sub>2</sub> ) Markazit (FeS <sub>2</sub> )	Arsenopirit (FeAsS)			
Kobalt (Co)			Kobaltin (CoAsS)			
Nikkel (Ni)		Pentlandit (Fe, Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>				
Arany (Au)	Termésarany (Au) Elektrum (Au, Ag) Aurokuprid (Au, Cu) Maldonit (Au, Bi) Porpezit (Au, Pd)			Auroszbit (AuSb <sub>2</sub> )	Krennerit (AuTe <sub>2</sub> ) Szilvanit ((AgAu) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> ) Nagyágit (Pb(Pb, Sb) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> X(Au, Te)	Fischesserit (Ag <sub>2</sub> Au <sub>2</sub> Se <sub>2</sub> )
Ezüst (Ag)	Természüst (Ag) Elektrum (Au, Ag)	Argentit (Ag <sub>2</sub> S)	Proustit ((Cu, Fe, Ag)As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )	Pirargirit (Ag <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> S <sub>9</sub> )	Szilvanit ((AgAu) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> )	
Hégy (Hg)		Cinnabarit (HgS)				
Réz (Cu)	Termésréz (Cu) Aurokuprid (Au, Cu)	Kakozin (Cu <sub>2</sub> S) Kovellit (CuS) Bornit (Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> ) Kakopirit (CuFeS <sub>2</sub> )	Enargit (Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> ) Tennantit ((Cu, Fe)As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )	Tetraedrit ((Cu, Fe)Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )		
Ólom (Pb)		Galenit (PbS)			Nagyágit (Pb(Pb, Sb) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> X(Au, Te)	
Cink (Zn) és Kadmium (Cd)		Szفالerit (ZnS)				
Szén (C)	Grafit (C) Amorf szén (C)					
Arzén (As)	Termésarzén (As)	Realgár (AsS) Auripigment (As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ) Arsenopirit (FeAsS)	Enargit (Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> ) Tennantit ((Cu, Fe)As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ) Proustit ((Cu, Fe, Ag)As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )			
Antimon (Sb)		Antimonit (Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> )		Pirargirit (Ag <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> S <sub>9</sub> ) Tetraedrit ((Cu, Fe)Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ) Auroszbit (AuSb <sub>2</sub> )		
Bizmut (Bi)	Termésbizmut (Bi) Maldonit (Au, Bi)	Bizmutinit (Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> )				



Termésarany Verespatakról

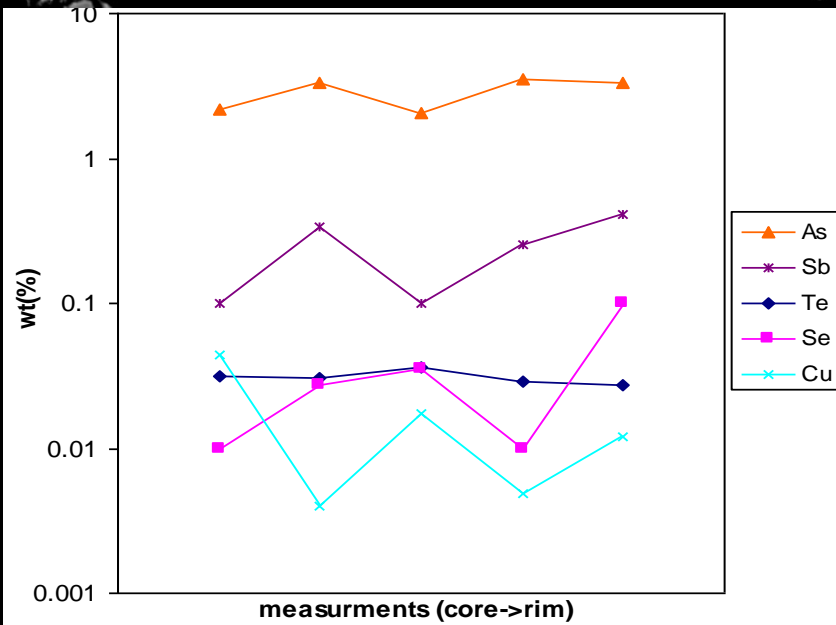
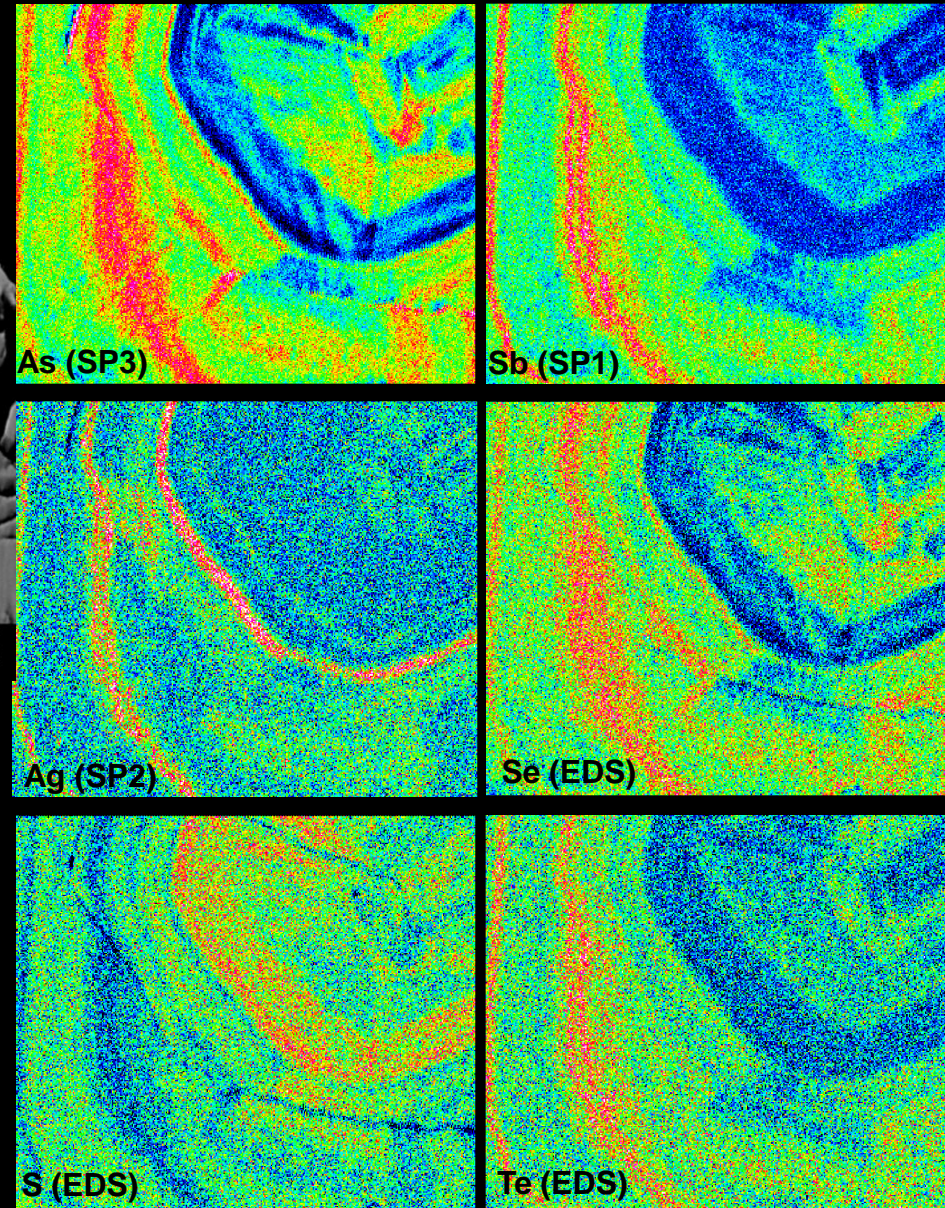
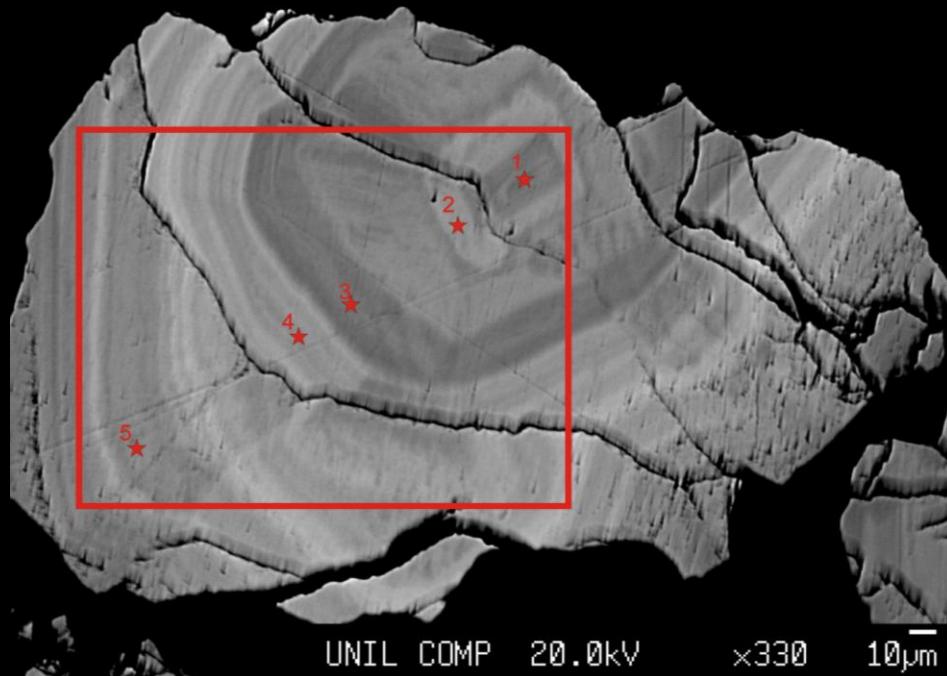


Szilvanit a Fiji szigetekről



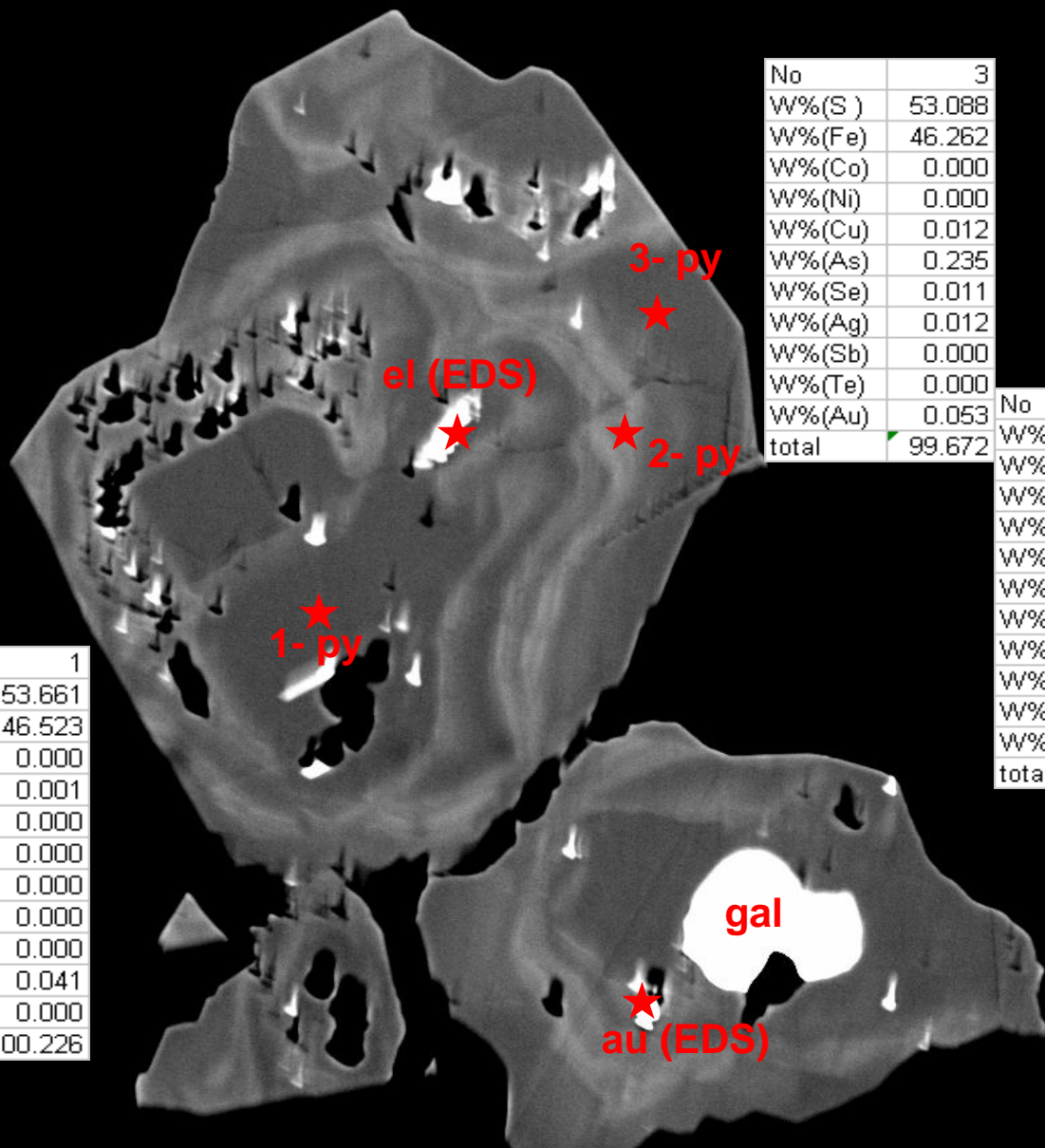
Nagyágit és kvarc Nagyágról

# Arzén tartalmú pirit EMPA térképe



**Note:** WDS measurements for Ag, Se, Te, Cu are in range (or lower) of detection limit, thereafter the mapping results could represent signal-to-noise effect.

No	1
W%(S )	53.661
W%(Fe)	46.523
W%(Co)	0.000
W%(Ni)	0.001
W%(Cu)	0.000
W%(As)	0.000
W%(Se)	0.000
W%(Ag)	0.000
W%(Sb)	0.000
W%(Te)	0.041
W%(Au)	0.000
total	100.226



No	3
W%(S )	53.088
W%(Fe)	46.262
W%(Co)	0.000
W%(Ni)	0.000
W%(Cu)	0.012
W%(As)	0.235
W%(Se)	0.011
W%(Ag)	0.012
W%(Sb)	0.000
W%(Te)	0.000
W%(Au)	0.053
total	99.672

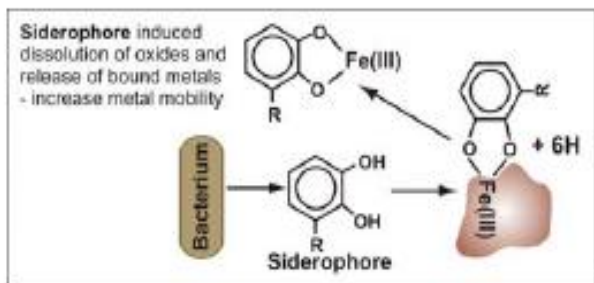
No	2
W%(S )	51.241
W%(Fe)	45.661
W%(Co)	0.000
W%(Ni)	0.000
W%(Cu)	0.000
W%(As)	2.987
W%(Se)	0.000
W%(Ag)	0.000
W%(Sb)	0.000
W%(Te)	0.025
W%(Au)	0.008
total	99.923

UNIL COMP 20.0kV

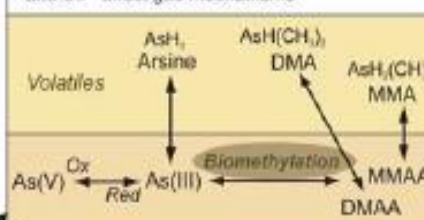
x500

10µm

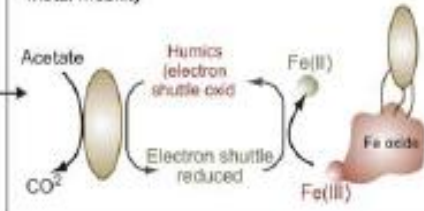
# Geomikrobiális tevékenység által kiváltott ásványosodás a talaj-regolit szintjén



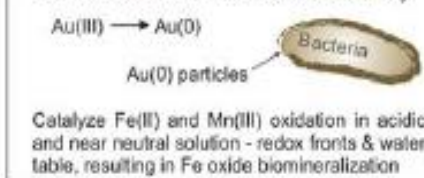
**Biomethylation and volatilization of Hg, As, Sb and Sn - affect gas mechanisms**



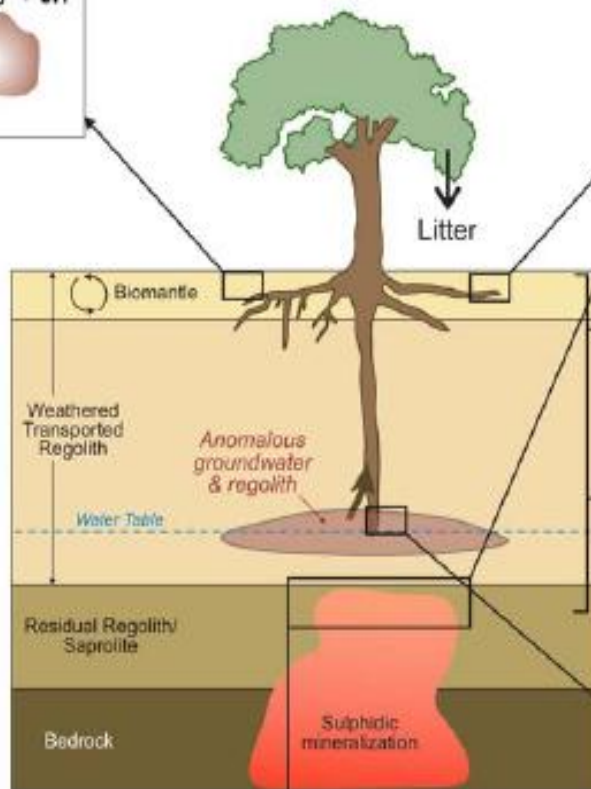
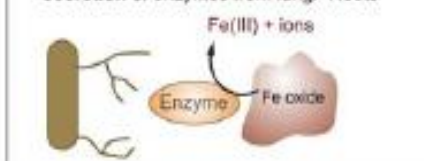
**Reductive dissolution of oxides facilitated by humics as electron shuttlers - increase "bound" metal mobility**



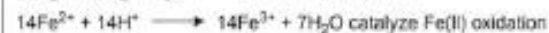
**Biomining - decrease metal mobility**



**Nutrients mobilized from bound sources via secretion of enzymes from fungi- Roots**

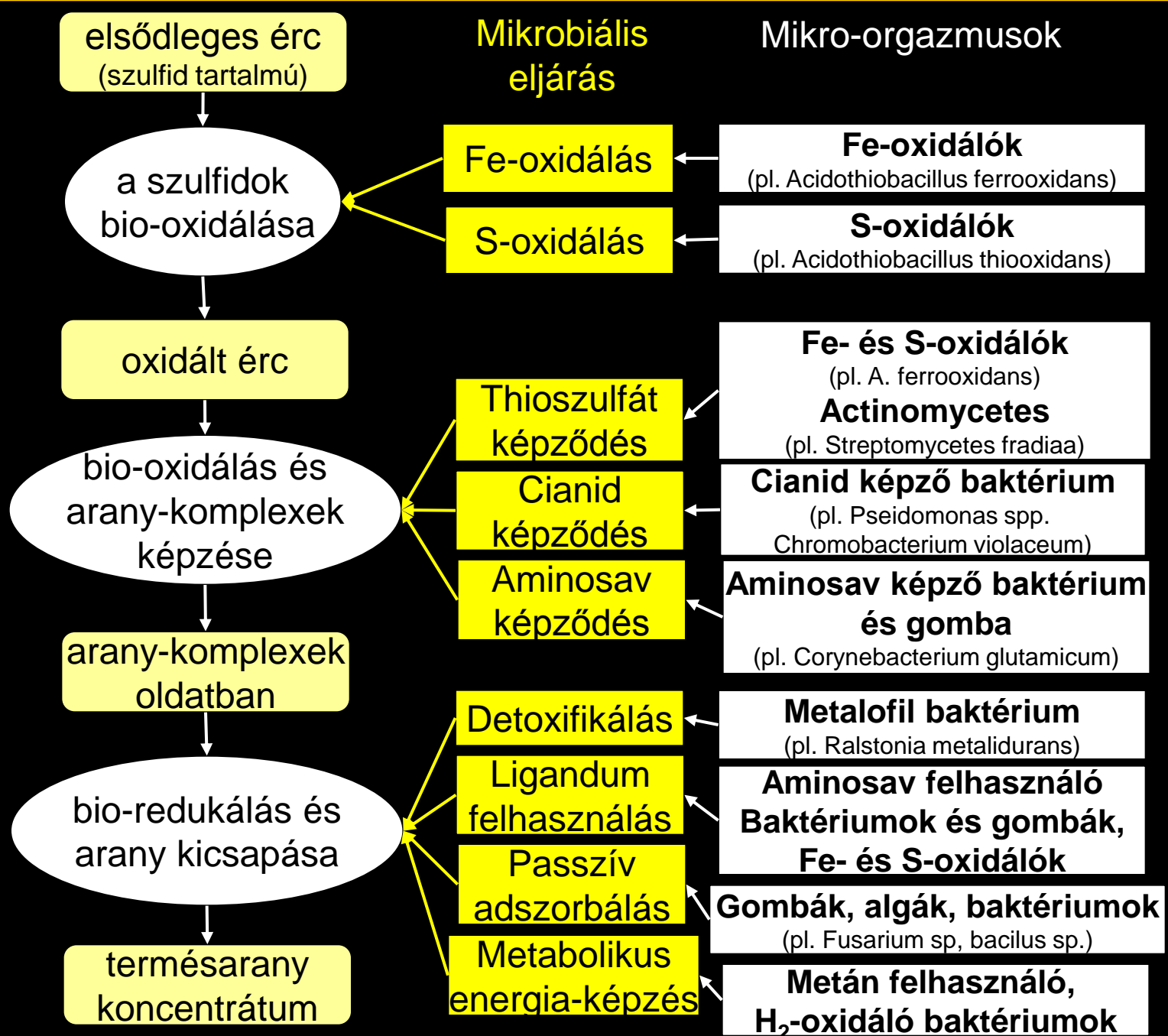


Determine rate of sulphide weathering by catalyzing Fe<sup>2+</sup> oxidation and release of S gases - affect generation of H<sup>+</sup> & impact hydrogeochemical and gas mechanisms





# Az aranyérc feldolgozásának lehetséges folyamatsora geomikrobiális eljárásokkal



## Reductive Precipitation of Gold by Dissimilatory Fe(III)-Reducing *Bacteria* and *Archaea*

KAZEM KASHEFI, JASON M. TOR, KELLY P. NEVIN, AND DEREK R. LOVLEY\*

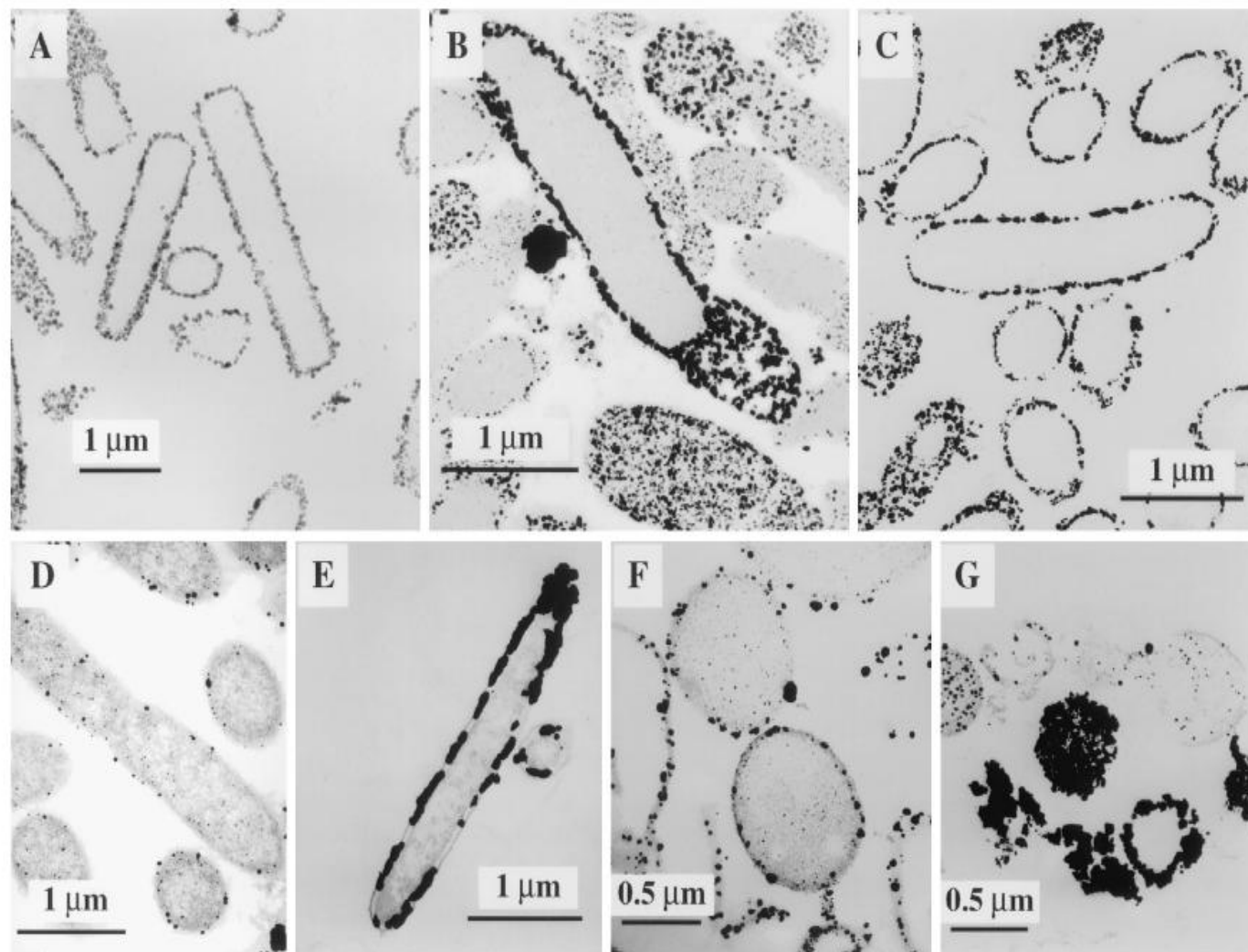
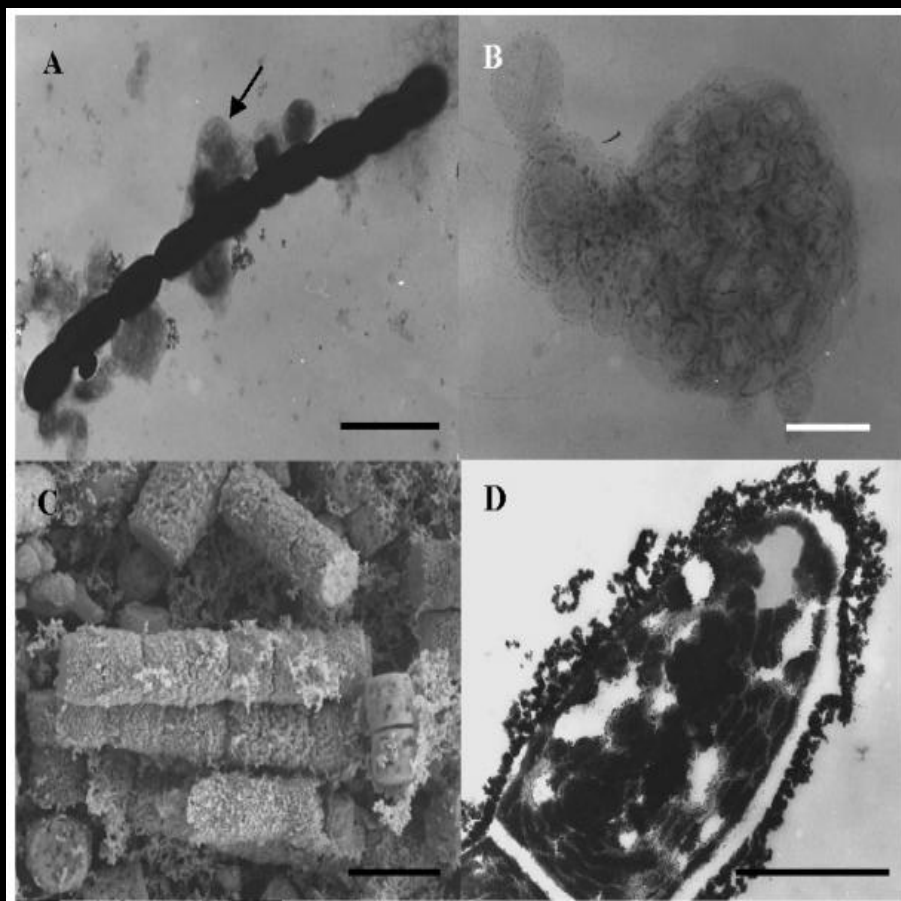


FIG. 3. Transmission electron micrograph of thin sections illustrating gold precipitation associated with Au(III)-reducing microorganisms and lack of gold precipitation with *G. sulfurreducens*. (A) *P. islandicum*; (B) *T. maritima*; (C) *S. algae*; (D) *G. sulfurreducens*; (E) *G. ferrireducens*; (F) *P. furiosus*; (G) strain 234.

## Morphology of Gold Nanoparticles Synthesized by Filamentous Cyanobacteria from Gold(I)–Thiosulfate and Gold(III)–Chloride Complexes

Maggy F. Lengke,\* Michael E. Fleet, and Gordon Southam

*Department of Earth Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario N6A 5B7, Canada*

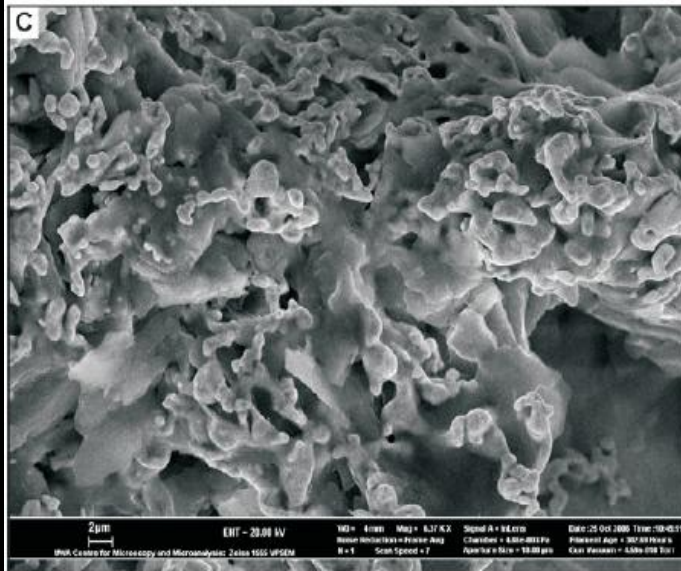
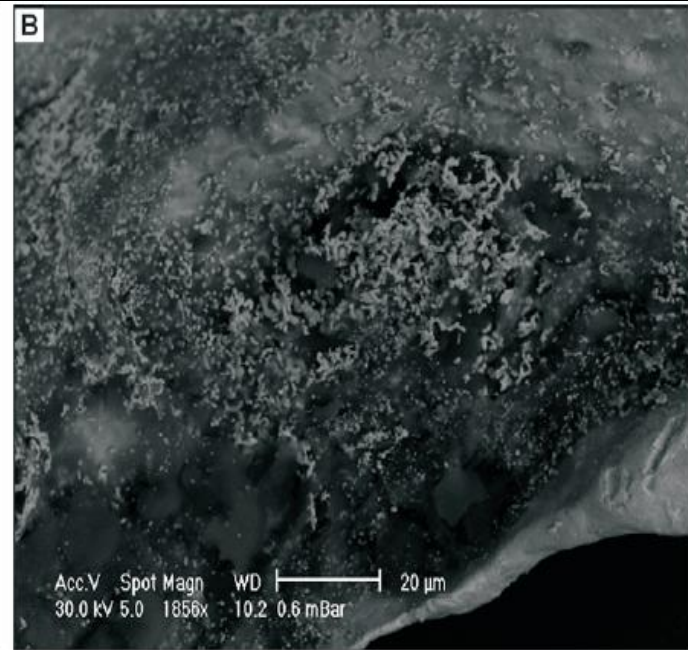


# **Biom mineralization of Gold: Biofilms on Bacterioform Gold**

Frank Reith,<sup>1,2\*</sup> Stephen L. Rogers,<sup>1,4</sup> D. C. McPhail,<sup>1,2</sup> Daryl Webb<sup>3</sup>

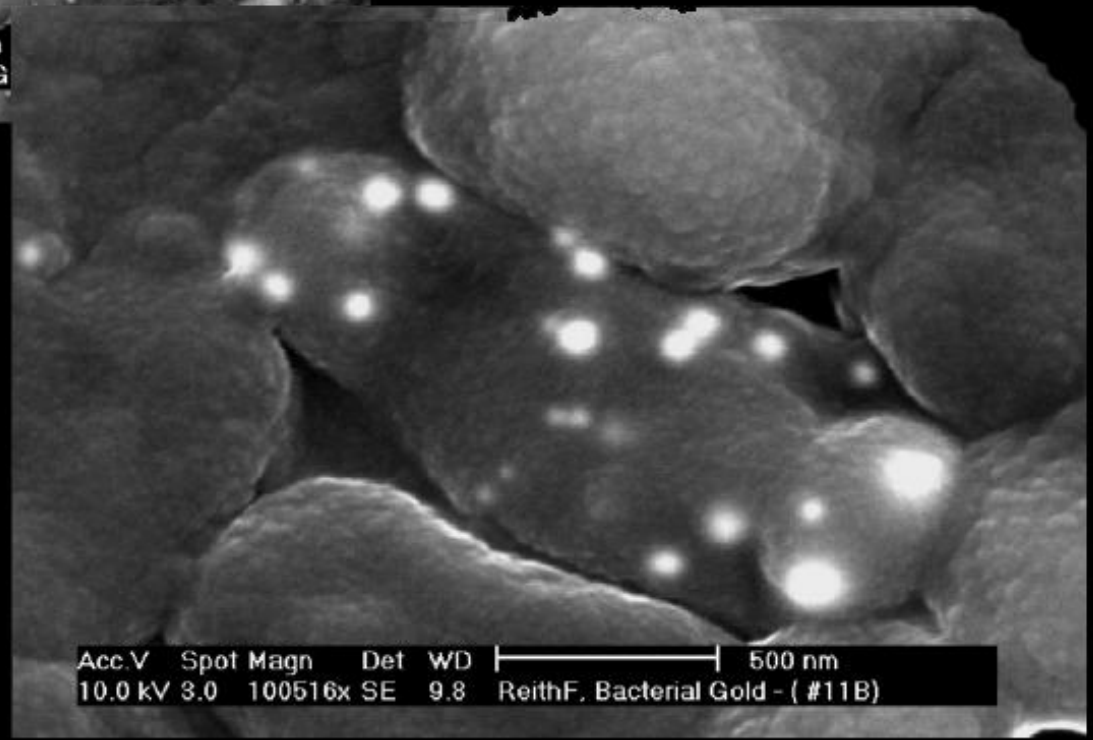
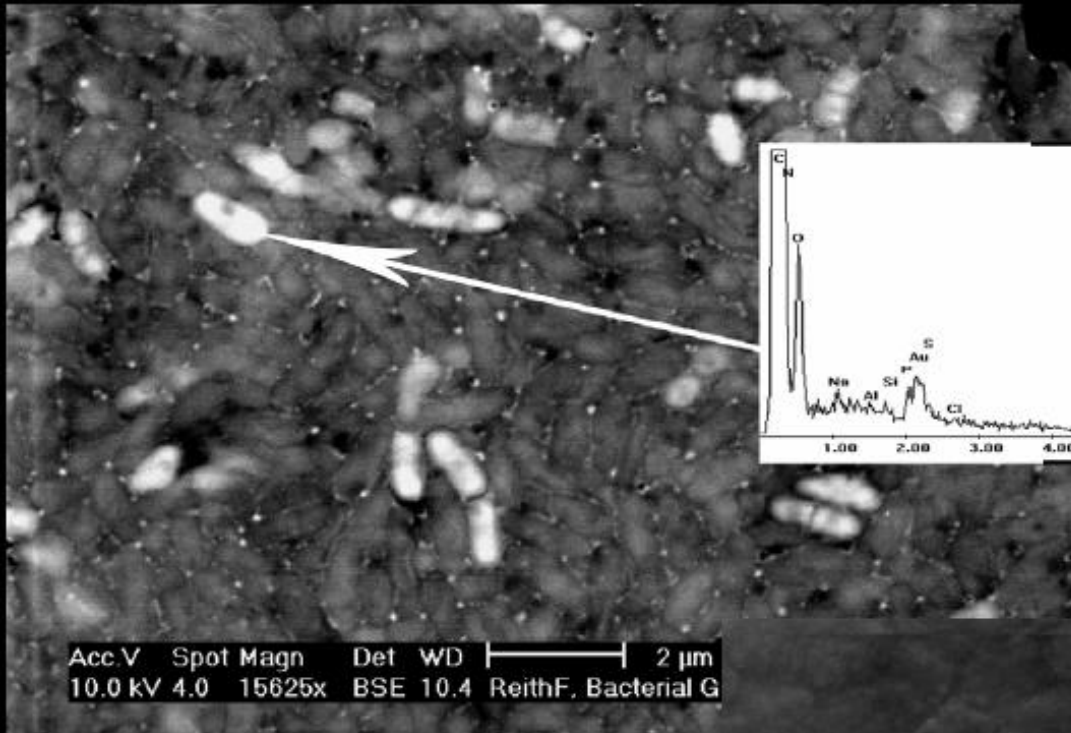
SCIENCE VOL 313 14 JULY 2006

# Termésarany, mikro-organizmusokra jellemző sejtszerű morfológiák a visszaszórt elektronképeken (Reith et al. 2007)

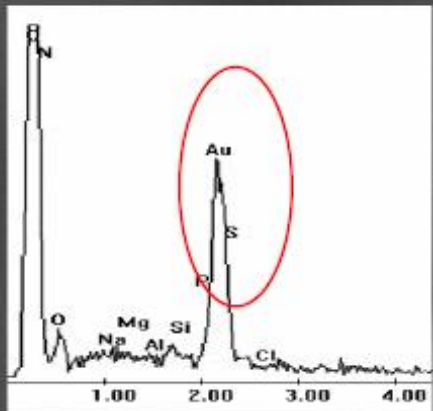
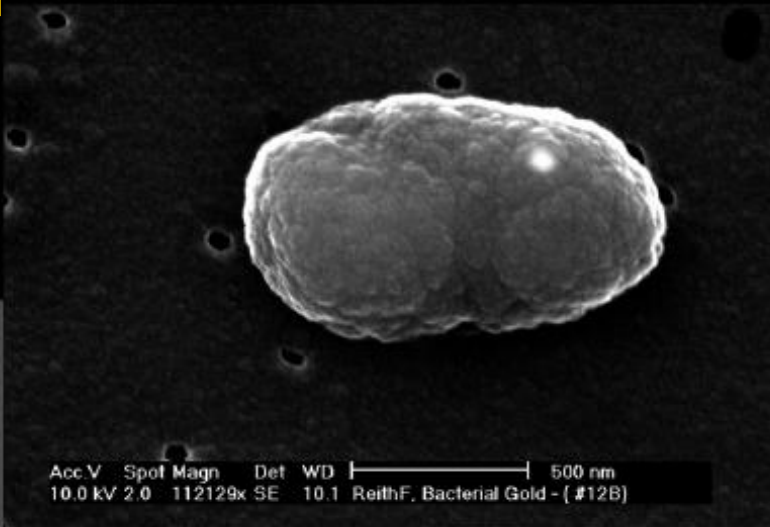


**Ralstonia metalidurans**  
baktérium és az általa  
kiválasztott arany szemcsék  
visszaszórt elektronképe  
(*Reith et al. 2007*)

---



**Ralstonia metalidurans: mikrobiális eredetű arany szemcse Röntgen Energia Diszperzív pont elemzése (Reith et al. 2007)**



Acc.V Spot Magn Det WD | 500 nm  
10.0 kV 4.0 112129x BSE 10.1 ReithF, Bacterial Gold - (#12B)